

(19) BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND



DEUTSCHES

PATENTAMT

# Offenlegungsschrift

(10) DE 196 03 829 A 1

(51) Int. Cl. 6:

H 01 L 21/308

H 01 L 49/00

// G01P 15/09, G01C

21/00

(21) Aktenzeichen: 196 03 829.4

(22) Anmeldetag: 2. 2. 96

(43) Offenlegungstag: 7. 8. 97

DE 196 03 829 A 1

(71) Anmelder:

Daimler-Benz Aktiengesellschaft, 70567 Stuttgart,  
DE

(72) Erfinder:

Voß, Ralf, Dr., 82319 Starnberg, DE

(56) Entgegenhaltungen:

DE 40 00 496 A1

US 54 84 073

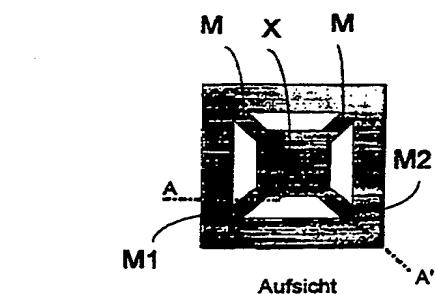
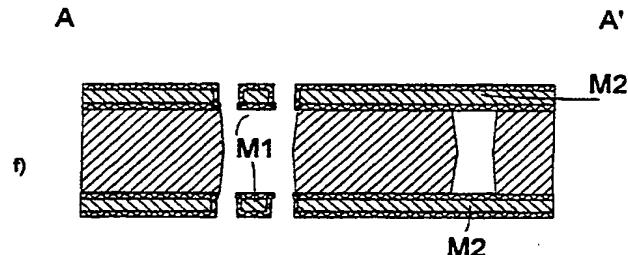
US 50 00 817

Shaw, K.A. et.al.: SCREAM I: a single mark, single-crystal silicon, reactive ion etching process for microelectromechanical structures, in: Sensors and Actuators A, 40, 1994, pp. 63-67;  
Burver, Chr. and Esteve, J.: High-precision BESOI-based resonant electrometer, in: Sensors and Actuators A 50, 1995, pp. 7-12;  
Patent Abstracts of Japan, E-1581, 20.07.1994, Vol. 18, No. 388;

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

(54) Verfahren zur Herstellung von mikromechanischen Strukturen aus Silizium

(57) Es wird ein Verfahren aufgezeigt, mit dem eine simultane Ätzung der Wafervorderseite und -rückseite bei gleichzeitiger Erhalt dünner Si-Strukturen möglich ist. Dazu wird die Verwendung von Silizium-Wafern vorgeschlagen, die auf beiden Seiten vergrabene Ätzstoppsschichten besitzen. Durch eine entsprechende Vorstrukturierung der Waferoberflächen mit den in der Silizium-Mikromechanik üblichen Methoden werden die gewünschten Strukturgeometrien der späteren Membranen definiert. Anschließend wird das Silizium mit einer geeigneten Dünnsschicht passiviert, so daß es während des darauf folgenden "Anisotropen Äzens" nicht von der Ätzlösung angegriffen wird.



DE 196 03 829 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereicht unterlagen entnommen

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von mikromechanischen Strukturen aus Silizium.

Zur Herstellung des größten Teils von mikromechanischen Strukturen für Sensor- und Aktor-Anwendungen ist es notwendig, Siliziummembranen mit genau definierter Dicke durch das sog. "Anisotrope Siliziumätzen" zu erzeugen. Bisher ist es allerdings nur sehr eingeschränkt möglich, durch das "Anisotrope Ätzen", simultan oder auch nacheinander, auf beiden Waferseiten Membranstrukturen zu erzeugen. Dieses wird insbesondere bei hochsymmetrischen Bauelementen gefordert.

Mikromechanische Sensoren und Aktoren gewinnen nämlich in zunehmendem Maße an Bedeutung. In der Kfz-Sensorik werden bereits mikromechanische Sensoren im Airbagauslösersystem, in der aktiven Fahrwerksregelung und in der Schleudersensorik (ASS) eingesetzt. Ebenso wird intensiv an der Entwicklung von mikromechanischen Mikroinertialsystemen gearbeitet, die ihre Anwendung u. a. in der Navigation der Luft-, Raum- und Schiffahrt finden werden. Des weiteren werden mikromechanische Sensoren und Aktoren in der Medizintechnik eingesetzt (z. B. minimal invasive Chirurgie, künstliche Pankreas etc.).

Die relativ junge Disziplin der Silizium-Mikromechanik nutzt den Erfahrungsschatz und die Technologien der Mikroelektronik, um kostengünstige Bauelemente im Batchverfahren herzustellen. Das geschieht auch im Hinblick auf eine monolithische Integration von Sensor und Signalverarbeitung auf einem Chip. Zusätzlich wurden eine Reihe von Spezial-Technologien für die dreidimensionale Bearbeitung und das Packaging entwickelt. Dabei ist die Schlüsseltechnologie in der Silizium-Mikromechanik das sog. "Anisotrope Siliziumätzen". Hierbei werden die Kristallrichtungsabhängigkeit sowie die Selektivität des naßchemischen Ätzens in heißen Lagen ausgenutzt, um die dreidimensionale Struktur der Bauelemente zu erzeugen. Die hochgenaue, laterale Begrenzung des Ätzvorgangs ergibt sich durch eine vernachlässigbare Ätzgeschwindigkeit der (111)-Kristallebenen gegenüber den anderen Hauptkristallebenen. Für eine vertikale Steuerung des Ätzens wurden sog. Ätzstoppverfahren verwendet, d. h. der anisotrope Ätzprozeß muß in einer bestimmten Tiefe durch die selektiven Eigenschaften des Siliziumätzens zum Erliegen kommen, damit eine Membran mit der gewünschten Zieldicke im Mikrometerbereich entsteht.

Diese Reduzierung der Ätzgeschwindigkeit kann erreicht werden durch:

- eine hohe Bordotierung (sog. p-plus-Ätzstopp);
- das Anlegen einer externen, elektrischen Spannung an einem zuvor erzeugten p/n-Übergang in einem elektrochemischen Aufbau;
- die Verwendung von vergrabenen Ätzstopp-schichten, sog. "Silicon on Insulator" (SOI) Wafer [1, 2], (hergestellt durch verschiedene Verfahren wie z. B. BE SOI [3] (Bond and Etchback-SOI) oder SIMOX (Separation by Implanted Oxide) oder durch Kombinationen von beiden [4, 5]).

Die Literaturstellen [1]–[5] sind:

[1] H. G. Dura, H. Gassel, W. Mokwa und H. Vogt, SIMOX: An Efficient Etch-Stop to Fabricate Silicon Membranes with Well Defined Thickness. In Silicon-on-Insulator Technology and Devices, Band 92-13, S.

403–408. The Electrochemical Society, 1992.

[2] Y. Kanda. What kinds of SOI Wafers are Suitable for what Micromachining Purposes? Sensors and Actuators, A, 34, S. 211–215, 1992.

[3] J. B. Lasky, S. R. Stiffler, F. R. White, J. R. Abernathy. Silicon-on-Insulator (SOI) by Bonding and Etch-Back. In Int. Electron Devices Meet. Tech. Dig., S. 684–687, IEEE, 1985.

[4] H. G. Dura, H. Gassel, W. Mokwa, H. Vogt, G. Zimmer. Batch Process for the Production of Single Crystal Silicon Membranes by use of SIMOX-Wafers. In Micromechanics Europe 1990 Technical Digest, S. 31, 1990.

[5] H. Gassel und H. Vogt. Verfahren zum Herstellen einer monokristallinen Siliziumschicht auf einem vergrabenem Dielektrikum. Patentschrift: DE 42 10 859.

Bei allen Verfahren wird nahezu ausschließlich von der Rückseite des Wafers durch eine photolithographisch erzeugte Öffnung in einer ätzresistenten Dünn-schicht (Siliziumdioxid, Siliziumnitrid, Siliziumcarbid etc.) geätzt. Der Ätzvorgang kommt zum Erliegen, wenn die Ätzfront den hochdotierten Bereich bzw. den p/n-Übergang bzw. die vergrabene Ätzstoppeschicht erreicht.

Fast alle mikromechanisch hergestellten Bauelemente besitzen Membranen mit Dicken in der Größenordnung von 2 µm–20 µm als Schlüsselstrukturen. Beispielsweise werden seismische Massen von Beschleunigungssensoren so herausgeätzt, daß diese an dünnen Biegebalken hängen. Dieses geschieht in einem Herstellungsschritt. Dabei ist es aufgrund der starken Abhängigkeit der Sensor-Empfindlichkeit von der Siliziummembrandicke erforderlich, eine hohe Genauigkeit und Reproduzierbarkeit der Dicken zu erzielen. Ebenso bestehen Drucksensoren im wesentlichen aus einer geätzten Siliziummembran, dieses ist auch bei mikromechanischen chemischen Sensoren der Fall. Mikromechanische Aktoren wie z. B. Mikroventile oder -pumpen oder Schalter besitzen i.d.R. Siliziummembranen als Aktorelement.

Für bestimmte Anwendungen ist es erforderlich, zweiseitig-symmetrische Bauelemente herzustellen, z. B. Sensoren für Hochgenauigkeitsanforderungen, die oft als Differentialsensor betrieben werden [7, 8].

Die Literaturstellen [7] und [8] sind:

[7] H. Seidel, H. Riedel, R. Kolbeck, G. Mück, W. Kupke, M. Königer. Capacitive Silicon accelerometer with highly symmetrical design. Sensor and Actuators, A21–A23, 312, (1990).

[8] H. Seidel, Kapazitiver Beschleunigungssensor, Deutsches Patent, DE 36 25 411 C2, 1988.

Das bedeutet, daß die dünnen Siliziumstrukturen auf beiden Seiten des Wafers erhalten bleiben müssen. So-mit entfällt die Möglichkeit, die Membranen von einer Waferseite bis zur Ätzstoppeschicht zu ätzen, vielmehr müssen die Strukturen simultan von beiden Seiten geätzt werden. Die erhöhte Anforderung an die Selektivität des Ätzprozesses besteht darin, daß die Membranen oder Balken etc. von Beginn des Ätzens an über die gesamte Ätzdauer der Ätzlösung ausgesetzt sind und nicht nur kurzzeitig bis zum Erreichen der Ätzstoppeschicht. Das kann prinzipiell durch die oben beschriebenen selektiven Eigenschaften erreicht werden, die aber verschiedene Nachteile mit sich bringen (s. u.).

Für die Erzeugung der oben beschriebenen doppel-

seitig-symmetrischen Strukturen wurde bereits der p-plus Ätzstopp verwendet [7,8]. Prinzipiell ist hierzu auch die Verwendung des elektrochemischen Ätzstopps möglich, jedoch findet sich in der Literatur bisher kein Hinweis auf den erfolgreichen doppelseitigen Einsatz dieser Technik.

Beim p-plus Ätzstopp wird die Ätzstoppeschicht üblicherweise durch die epitaktische Abscheidung einer hochbordotierten Schicht auf einem niedrigdotiertem Substrat erzeugt. Auch möglich ist die Herstellung durch einen Diffusionsprozeß, dieses ist jedoch weniger zuverlässig. Die hohe Konzentration der Borionen generiert eine große Anzahl von Gitterfehlern, die zu mechanischen Spannung in der Membran führen, dadurch werden die mechanischen Eigenschaften des Siliziums sehr nachteilig beeinflußt. Darüber hinaus muß für die Verwendung als Ätzstopp eine derart hohe Bordotierung verwendet werden, daß das Material elektrisch entartet ist, d. h. die elektrischen Halbleitereigenschaften gehen verloren. Dieses verhindert eine monolithische Integration von elektrischen Funktionen für die Signalverarbeitung auf dem Bauelement. Ein weiterer Nachteil ist die eingeschränkte Möglichkeit zur Herstellung von hochbordotierten Schichten, denn die hohe Borkonzentration führt zu einer Kontamination der Epitaxiereaktoren, tatsächlich findet sich in Europa derzeit kein Reaktor für diesen Prozeß.

Beim elektrochemischen Ätzstopp bleiben die Kristallstruktur und damit die mechanischen Eigenschaften, sowie die elektrischen Halbleitereigenschaften erhalten. Für die Erzeugung des p/n-Übergangs und dessen Kontaktierung sind allerdings zusätzliche Ionen-Implantationen notwendig. Dabei werden Implantationsdosen verwendet, die sich nicht von denjenigen unterscheiden, welche in der Mikroelektronik üblich sind. Allerdings müssen die Implantationen in diesem Fall auf beiden Waferseiten erfolgen, damit wird der Herstellungsablauf sehr aufwendig und somit unwirtschaftlich. Des Weiteren ist das Prozeßfenster beim anisotropen Ätzen sehr klein, wie eigene Versuchsreihen und Diskussionen mit anderen Forschergruppen zeigen. Beim Anlegen der Ätzstoppspannung erfolgt die unbeabsichtigte, elektrochemische Zersetzung der benötigten Metallkontakte, was die galvanische Verbindung mit dem p/n-Übergang und damit den Ätzstopp unterbricht. Ein weiterer Nachteil ist die Methode der Kontaktierung des Wafers, dazu müssen relativ aufwendige Waferhalter verwendet werden, welche u. a. die elektrischen Zuleitungen vor der Ätzlösung schützen. Da jeder Wafer einzeln in den Halter montiert wird, erweist sich dieses Vorgehen als unwirtschaftlich.

Es ist das Ziel der Erfindung, ein Verfahren zur Herstellung der gewünschten Strukturen zu schaffen, das wirtschaftlich ist und die erforderliche hohen Präzision gewährleistet.

Dies wird nach der Erfindung durch die Merkmale nach dem kennzeichnenden Teil des Hauptanspruchs erreicht.

Vergrabene Ätzstoppeschichten wurden bisher lediglich für die Herstellung einseitiger Strukturen verwendet [1 – 6]. Die Stellen [1] bis [5] sind weiter oben näher bezeichnet, die Literaturstelle [6] ist.

[6] I. G. Stoev, R. A. Yankov, C. Jeynes, Formation of Etch-Stop Structures Utilizing Ion-Beam Synthesized Buried Oxide and Nitride Layers in Silicon. Sensors and Actuators, 19, S. 183 – 197, 1989.

Die vorliegende Erfindung schlägt erstmals die Herstellung und die Verwendung von doppelseitigen, vergrabenen Ätzstoppeschichten vor und beschreibt den für die Bauelementerherstellung benötigten Prozeßablauf. Der Prozeßablauf kann in vereinfachter Form auch auf einseitige Ätzungen angewendet werden, dies erspart beispielweise eine Deckelung des Wafers von unten.

Als besondere Vorteile der Erfindung gegenüber den bisher bekannten Verfahren ergeben sich:

- Einfache Erzeugung von doppelseitigen, einkristallinen dünnen Membranen aus Silizium unter Erhalt der elektrischen und mechanischen Eigenschaften des Siliziums;
- Die Strukturen sind mit der Signalverarbeitungselektronik oder mit Teilen davon monolithisch integrierbar;
- Wegfall von Ionen-Implantationen, die nur der Erzeugung des p/n-Übergangs für den elektrochemischen Ätzstopp dienen, und damit erhebliche Reduzierung des Herstellungsaufwandes und der Kosten;
- Wegfall von speziellen Ätzhaltern, d. h. die anisotrope Ätzung erfolgt tatsächlich im Batchprozeß und die Herstellung wird damit wirtschaftlich;
- keine Kontamination von Prozeßanlagen durch Herstellung der Ätzstoppeschicht;
- Herstellbarkeit von Membranen mit Dicken kleiner als 2 µm;
- Herstellbarkeit von Membranen mit Dicken größer als 20 µm;
- der Herstellungsprozeß läßt sich auch auf die Erzeugung einseitiger Strukturen übertragen, dadurch entfällt z. B. die Deckelung der Rückseite mit weiteren Wafers wie bisher üblich.

Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen und der Zeichnung, in der mehrere Ausführungsbeispiele beschrieben sind. Es zeigen

Fig. 1a eine REM (= Raster-Elektronen-Mikroskop)-Aufnahme einer nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Teststruktur,

Fig. 1b eine REM Aufnahme des Details "Biegebalken";

Fig. 2 schematisch das Ausgangsmaterial,

Fig. 3 schematisch den Herstellungsablauf für doppelseitige Membran Strukturen,

Fig. 4 schematisch den Herstellungsablauf für einseitige Membran Strukturen,

Fig. 5a eine REM Aufnahme einer einseitigen Teststruktur,

Fig. 5b eine REM Aufnahme mit dem Detail "Biegebalken";

Fig. 6 schematisch den Herstellungsablauf für doppelseitige Membran Strukturen mit Ionenimplantationen und Metallisierungen.

Die Fig. 1a zeigt eine REM (= Raster-Elektronen-Mikroskop) -Aufnahme einer nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Teststruktur. Diese besteht im wesentlichen aus der Platte X und den Membranen M, mit denen diese Platte X mit dem Rahmen R verbunden ist. Fig. 1b zeigt eine REM Aufnahme des Details "Biegebalken". Die Herstellung dieser Strukturen wird im folgenden beschrieben.

Als Grundmaterial für die Herstellung doppelseitiger Membranstrukturen werden Siliziumwafer vorgeschlagen, welche beidseitig vergrabene Ätzstoppeschichten und besitzen. Ein schematischer Querschnitt durch die

ses Material ist in Fig. 2 dargestellt. Darin sind das Silizium-Substrat mit S, die vergrabenen Ätzstoppsschichten mit V1 und V2 bezeichnet.

Als Ätzstoppsschicht werden solche Materialien definiert, welche beim anisotropen Siliziumätzen eine erheblich reduzierte Ätzgeschwindigkeit gegenüber dem Siliziumsubstrat besitzen, und zwar meist um mehrere Größenordnungen. Das sind z. B. Siliziumdioxid, Siliziumnitrid, Siliziumcarbid, verschiedene Metalle, Gläser oder Kombinationen aus diesen Materialien.

Speziell die vergrabenen Isolatorschichten können z. B. durch BESOI-Verfahren oder SIMOX oder durch Kombinationen aus diesen hergestellt werden. Dabei kann die vergrabene Schicht V1 bzw. V2 flächendekkend oder lokal vorhanden sein. Die Siliziumschicht kann durch Epitaxie von einkristallinem Silizium oder mit der Abscheidung von Poly-Silizium ergänzt werden. Alle Dotiertypen und -konzentrationen sowie Oberflächen-Orientierungen sind möglich.

Bei der Herstellung von einseitigen Strukturen genügt die Verwendung von einseitig vergrabenen Ätzstoppsschichten.

Anhand der Fig. 3 wird der prinzipielle Herstellungsablauf beschrieben. Er erfolgt unter Verwendung von Herstellungsschritten, die in der Halbleiterindustrie üblich und Stand der Technik sind, erweitert durch spezielle mikromechanische Prozeßschritte, und das alles auf der Basis von photolithographischer Strukturierung. Die Prozeßschritte erfolgen jeweils doppelseitig seriell oder parallel. Dies gilt sowohl für die im folgenden beschriebene doppelseitige Prozeßführung als auch für die weiter unten aufgeführten Varianten.

Im folgenden ist speziell der Herstellungsprozeß für eine parallele Bearbeitung beschrieben, d. h. jeder der erwähnten Prozeßschritte wird zuerst auf der Wafervorderseite durchgeführt und unmittelbar darauf folgend auch auf der Waferrückseite angewendet. Bei der seriellen Bearbeitung würde im Gegensatz dazu zunächst eine Waferseite komplett prozessiert, danach die andere Seite. Eine Kombination aus teilweise serieller und paralleler Bearbeitung ist ebenfalls möglich.

Die Verfahrensschritte sind folgende:

- a) beidseitige Passivierung P der Oberflächen z. B. mit Siliziumdioxid oder Siliziumnitrid oder Siliziumcarbid oder Kombinationen daraus (Fig. 3a);
- b) photolithographische Öffnung B der Passivierung durch einen Ätzschritt plasmaunterstützt oder naßchemisch auf beiden Seiten (Fig. 3b);
- c) beidseitige Ätzung des Siliziums auf der vergrubenen Ätzstoppsschicht, bis diese erreicht wird. Dabei kann diese auch angeätzt oder durchgeätzt werden. Der Ätzprozeß erfolgt naßchemisch oder plasmaunterstützt. Bei plasmaunterstütztem Ätzen können die Schritte a) und b) entfallen und die Ätzung nur über eine Photolackmaske erfolgen (Fig. 3c);
- d) beidseitige Passivierung der Siliziumoberfläche mit einem ätzresistenten Material H, das z. B. durch einen Abscheideprozeß erzeugt wird wie Oxidation, LPCVD-(= Low Pressure Chemical Vapor Deposition) Abscheidung, PECVD-(= Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition) Abscheidung, Sputtern oder ein Aufdampfverfahren, so daß auch die vertikale Wand des Siliziums bedeckt wird und die zu schützenden Siliziumstrukturen ummantelt werden (Fig. 3d).
- e) beidseitige Öffnung eines Ätzfensters für die an-

sotrope Siliziumätzung in der Vertiefung, und zwar plasmaunterstützt oder auch naßchemisch (Fig. 3e);

f) doppelseitige naßchemische, anisotrope Siliziumätzung. Dabei werden die zuvor definierten Teilbereiche unterätzt und bleiben als dünne Membranen M erhalten (Fig. 3f, siehe auch REM-Aufnahme Fig. 1). Dieser Vorgang kann auch durch plasmaunterstütztes Ätzen des Siliziums ergänzt werden.

Im folgendenden werden weitere Varianten des erfundsgemäßen Verfahrens beschrieben:

Zur Herstellung von einseitigen Membranen in bulk-Material kann der Herstellungsablauf nach Fig. 3 vereinfacht werden, wie in der Fig. 4 dargestellt ist. Dies erspart eine Deckelung von der Waferrückseite und vermindert den Aufbauaufwand zu Verkapselung der Chips beispielsweise bei Mikroventilen, Flow-Controlern und dergleichen.

Die Verfahrensschritte sind folgende:

- a) Passivierung der Oberfläche z. B. mit Siliziumdioxid oder Siliziumnitrid oder Siliziumcarbid oder Kombinationen daraus (Fig. 4a);
- b) photolithographische Öffnung B der Passivierung durch einen Ätzschritt plasmaunterstützt oder naßchemisch (Fig. 4b);
- c) Ätzung des Siliziums auf der vergrubenen Ätzstoppsschicht, bis diese erreicht wird. Dabei kann letztere auch angeätzt oder durchgeätzt werden. Der Ätzprozeß erfolgt naßchemisch oder plasmaunterstützt. Bei plasmaunterstütztem Ätzen können a) und b) entfallen und die Ätzung nur über eine Photolackmaske erfolgen (Fig. 4c);
- d) Passivierung der Siliziumoberfläche mit einem ätzresistenten Material H, das z. B. durch einen Ofen oder einen Abscheideprozeß erzeugt wird, wie durch Oxidation, LPCVD-Abscheidung, PECVD-Abscheidung, Sputtern oder ein Aufdampfverfahren, so daß auch die vertikale Wand des Siliziums bedeckt wird und die zu schützenden Siliziumstrukturen ummantelt werden (Fig. 4d);
- e) Öffnung eines Ätzfensters F für die anisotrope Siliziumätzung in der Vertiefung, plasmaunterstützt oder auch naßchemisch (Fig. 4e);
- f) naßchemische, anisotrope Siliziumätzung. Dabei werden die zuvor definierten Teilbereiche unterätzt und bleiben als dünne Membranen erhalten (Fig. 4f, siehe auch REM-Aufnahme Fig. 1). Dieser Vorgang kann auch durch plasmaunterstütztes Ätzen des Siliziums ergänzt werden.

Die Fig. 5a und 5b zeigen REM-Aufnahmen einer solchen einseitigen Struktur bzw. des "Biegebalkens".

Es ist ebenso möglich, den in Fig. 3a-f beschriebenen Herstellungsablauf durch zusätzliche Herstellungsschritte zu ergänzen, die in der Halbleiterindustrie üblich und Stand der Technik sind, erweitert durch spezielle mikromechanische Prozeßschritte, und zwar alles auf der Basis von photolithographischer Strukturierung. Die Prozeßschritte erfolgen jeweils doppelseitig seriell oder parallel.

Anhand von Fig. 6 wird ein Beispiel für die Herstellung einer solchen erweiterten Struktur in paralleler Bearbeitung beschrieben:

Die Verfahrensschritte sind folgende:

- a) beidseitige Passivierung der Oberfläche z. B. mit

Siliziumdioxid oder Siliziumnitrid oder Siliziumcarbid oder Kombinationen daraus (Fig. 6a);  
 b) ganzflächige, beidseitige Ionen-Implantationen zur Erhöhung der Leitfähigkeit. Die Implantationen können auch lokal erfolgen (Fig. 6b);  
 c) beidseitige photolithographische Öffnung der Passivierung durch einen Ätzschritt plasmaunterstützt oder naßchemisch (Fig. 6c);  
 d) beidseitige Ätzung des Siliziums auf der vergrabenen Ätzstoppeschicht, bis diese erreicht wird. Dabei kann letztere auch angeätzt oder durchgeätzt werden. Der Ätzprozeß erfolgt naßchemisch oder plasmaunterstützt. Bei plasmaunterstütztem Ätzen können a) und c) entfallen und die Ätzung nur über eine Photolackmaske erfolgen (Fig. 6d);  
 e) beidseitige Passivierung der Siliziumoberfläche mit einem ätz-resistenten Material H, das z. B. durch einen Ofen- oder einen Abscheideprozeß erzeugt wird, wie durch Oxidation, LPCVD-Abscheidung, PECVD-Abscheidung, Sputtern oder ein Aufdampfverfahren, so daß die vertikale Wand des Siliziums bedeckt wird und die zu schützenden Siliziumstrukturen ummantelt werden (Fig. 6 e);  
 f) beidseitige Öffnung eines Ätzfensters F für die anisotrope Siliziumätzung in der Vertiefung, plasmaunterstützt oder auch naßchemisch. Gemeinsam mit diesem Schritt können auch Kontaktlöcher für die spätere Kontaktierung des Metalls zum Halbleiter geöffnet werden. Dies kann jedoch auch durch eine separate Phototechnik erfolgen (Fig. 6f);  
 g) beidseitige Metallisierung und photolithographische Strukturierung der Leiterbahnen, Elektroden, Drahtbondpads G etc. (Fig. 6g);  
 h) naßchemische, anisotrope Siliziumätzung. Dabei werden die zuvor definierten Teilbereiche unterätzt und bleiben als dünne Membranen M1, M2 erhalten (Fig. 6c). Dieser Vorgang kann auch durch plasmaunterstütztes Ätzen des Siliziums ergänzt werden.

Weitere Abwandlungen dieses Verfahrens bestehen in folgenden Varianten:

- die Verwendung einer lokalen, vergrabenen Ätzstoppeschicht kann die Metallisierung der Unterseite überflüssig machen;
- die Implantationen können durch die Verwendung eines höher dotierten Ausgangsmaterials ersetzt werden;
- die Metallisierung kann auch nach dem anisotropen Ätzen z. B. über Schattenmasken erfolgen;
- es ist auch möglich, das Bauelement ohne Metallisierung zu betreiben, d. h. die Kontaktlochöffnung und die Metallisierung sowie deren Strukturierung entfällt. Es muß z. B. dann naßchemisch oder auch plasmaunterstützt die Passivierung entfernt werden. Das hat u. a. den Vorteil, daß eine Hochtemperatur-Bonding einer Deckscheibe nach der 3-d Strukturierung erfolgen kann und somit ein Voll-Siliziumaufbau des Bauelements möglich ist, was z. B. zur Verminderung der Temperatureffekte führt und die Herstellungskosten drastisch verringert.
- eine serielle Bearbeitung oder eine Kombination aus teilweise serieller und paralleler Bearbeitung ist ebenfalls möglich.

Analog zum Verfahren nach Fig. 4 ist es möglich, auch einseitige Strukturen, z. B. für Flow-Sensoren, mit entsprechenden Ionenimplantationen und Metallisierungen zu erzeugen.

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von mikromechanischen Strukturen aus Silizium, dadurch gekennzeichnet, daß auf einem Wafer mit auf beiden Seiten vergrabenen Ätzstoppeschichten oder lokalen Ätzstoppbereichen die Strukturgeometrie der späteren Struktur vordefiniert wird, anschließend das Silizium mit einer geeigneten Dünnschicht passiviert und schließlich die Struktur durch geeignete Tiefätzverfahren herausgearbeitet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch folgende Schritte:
  - a) beidseitige Passivierung P der Oberflächen z. B. mit Siliziumdioxid oder Siliziumnitrid oder Siliziumcarbid oder Kombinationen daraus (Fig. 3a);
  - b) photolithographische Öffnung B der Passivierung durch einen Ätzschritt plasmaunterstützt oder naßchemisch auf beiden Seiten (Fig. 3b);
  - c) beidseitige Ätzung des Siliziums auf der vergrabenen Ätzstoppeschicht, bis diese erreicht wird (Fig. 3c);
  - d) beidseitige Passivierung der Siliziumoberfläche mit einem ätzresistenten Material (H), das z. B. durch einen Ofen- oder einen Abscheideprozeß erzeugt wird wie Oxidation, LPCVD-Abscheidung, PECVD-Abscheidung, Sputtern oder ein Aufdampfverfahren, so daß die vertikale Wand des Siliziums bedeckt wird und die zu schützenden Siliziumstrukturen ummantelt werden (Fig. 3d);
  - e) beidseitige Öffnung eines Ätzfensters (F) für die anisotrope Siliziumätzung in der Vertiefung, und zwar plasmaunterstützt oder auch naßchemisch (Fig. 3e);
  - f) doppelseitige naßchemische, anisotrope Siliziumätzung, wobei die zuvor definierten Teilbereiche unterätzt werden und als dünne Membranen M erhalten bleiben (Fig. 3f), wobei dieser Schritt ggf. durch plasmaunterstütztes Ätzen ergänzt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch folgende Schritte:
  - a) Passivierung der Oberfläche z. B. mit Siliziumdioxid oder Siliziumnitrid oder Siliziumcarbid oder Kombinationen daraus (Fig. 4a);
  - b) photolithographische Öffnung (B) der Passivierung durch einen Ätzschritt plasmaunterstützt oder naßchemisch (Fig. 4b);
  - c) Ätzung des Siliziums auf der vergrabenen Ätzstoppeschicht, bis diese erreicht wird;
  - d) Passivierung der Siliziumoberfläche mit einem ätzresistenten Material (H), das z. B. durch einen Ofen- oder einen Abscheideprozeß wie Oxidation, LPCVD-Abscheidung, PECVD-Abscheidung, Sputtern oder ein Aufdampfverfahren erzeugt wird, so daß die vertikale Wand des Siliziums bedeckt wird und die zu schützenden Siliziumstrukturen ummantelt werden (Fig. 4d);
  - e) Öffnung eines Ätzfensters (F) für die aniso-

trope Siliziumätzung in der Vertiefung, plasmaunterstützt oder auch naßchemisch (Fig. 4e);

f) naßchemische, anisotrope Siliziumätzung, wobei die zuvor definierten Teilbereiche unterätzt werden und als dünne Membranen erhalten bleiben (Fig. 4f), wobei dieser Schritt ggf. durch plasmaunterstütztes Ätzen ergänzt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch folgende Schritte:

a) beidseitige Passivierung der Oberfläche z. B. mit Siliziumdioxid oder Siliziumnitrid oder Siliziumcarbid oder Kombinationen daraus (Fig. 6a);

b) ganzflächige, beidseitige Ionen-Implantationen zur Erhöhung der Leitfähigkeit. Die Implantationen können auch lokal erfolgen (Fig. 6b);

c) beidseitige photolithographische Öffnung (B) der Passivierung durch einen Ätzschritt plasmaunterstützt oder naßchemisch (Fig. 6c);

d) beidseitige Ätzung des Siliziums auf der vergrabenen Ätzstoppeschicht, bis diese erreicht wird (Fig. 6d);

e) beidseitige Passivierung der Siliziumoberfläche mit einem ätzresistenten Material (H), das z. B. durch einen Ofen- oder Abscheideprozess erzeugt wird wie Oxidation, LPCVD-Abscheidung, PECVD-Abscheidung, Sputtern oder ein Aufdampfverfahren, so daß die vertikale Wand des Siliziums bedeckt wird und die zu schützenden Siliziumstrukturen ummantelt werden (Fig. 6e);

f) beidseitige Öffnung eines Ätzfensters F für die anisotrope Siliziumätzung in der Vertiefung, plasmaunterstützt oder auch naßchemisch (Fig. 6f);

g) beidseitige Metallisierung und photolithographische Strukturierung der Leiterbahnen, Elektroden, Drahtbondpads (G) etc. (Fig. 6g);

h) naßchemische, anisotrope Siliziumätzung, wobei die zuvor definierten Teilbereiche unterätzt werden und als dünne Membranen M1, M2 erhalten bleiben (Fig. 6c), wobei dieser Schritt ggf. durch plasmaunterstütztes Ätzen ergänzt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Bearbeitung der beiden Seiten vollständig oder teilweise seriell erfolgt.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß bei der photolithographischen Öffnung eines Ätzfensters (F) für die anisotrope Siliziumätzung auch Kontaktlöcher für die spätere Kontaktierung des Metalls zum Halbleiter geöffnet werden.

7. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Strukturgeometrie der späteren Struktur auf nur einer Waferseite vordefiniert und schließlich die geeignete Struktur Tiefätzverfahren von dieser Seite herausgearbeitet wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Strukturgeometrie der späteren Struktur auch auf einem Wafer mit einseitig vergrabener Ätzstoppeschicht vordefiniert und schließlich herausgearbeitet wird.

9. Wafer zur Herstellung von mikromechanischen

Strukturen aus Silizium, dadurch gekennzeichnet, daß er beidseitig vergrabene Ätzstoppeschichten aufweist.

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

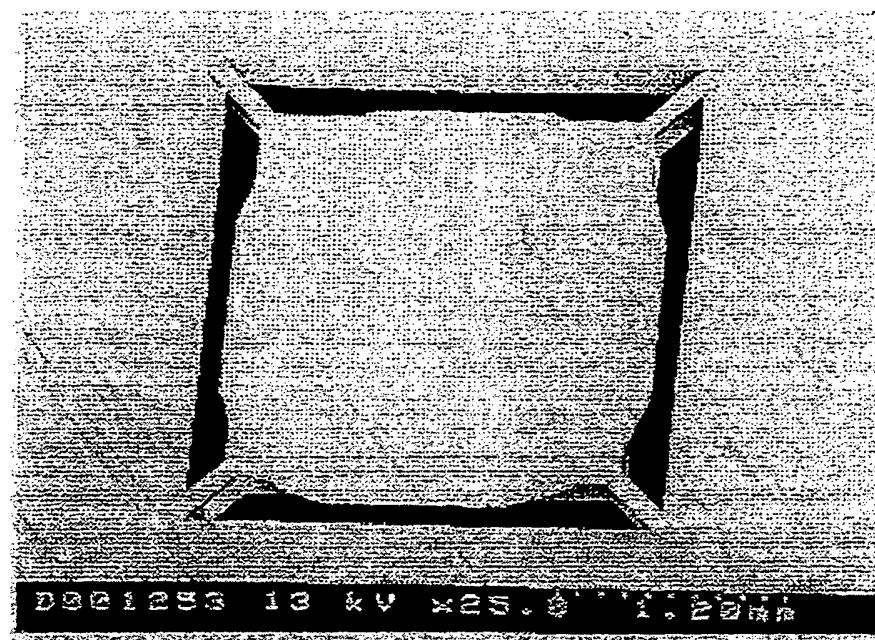


Fig 1a

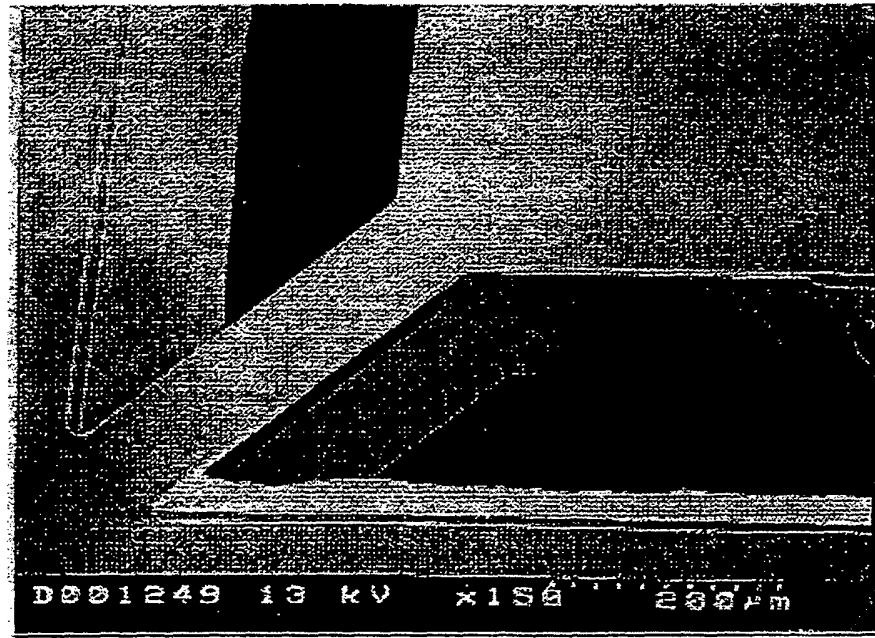


Fig 1b

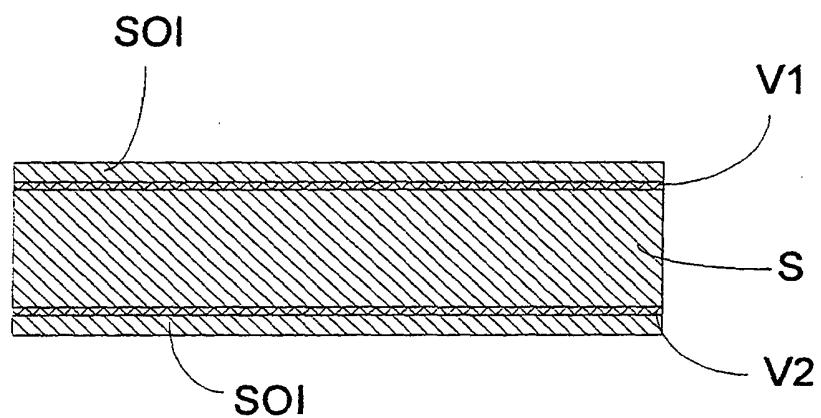


Fig. 2

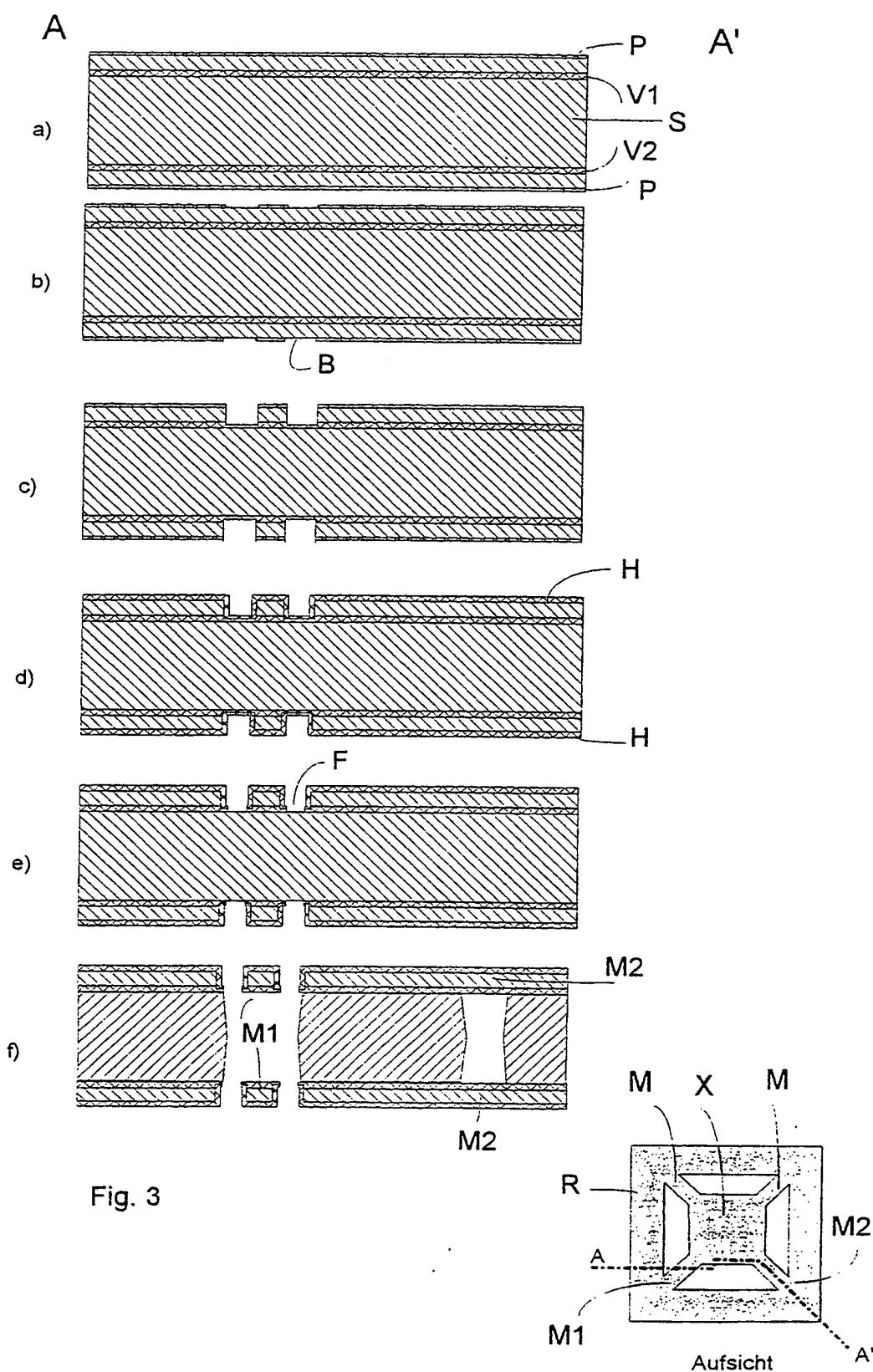


Fig. 3

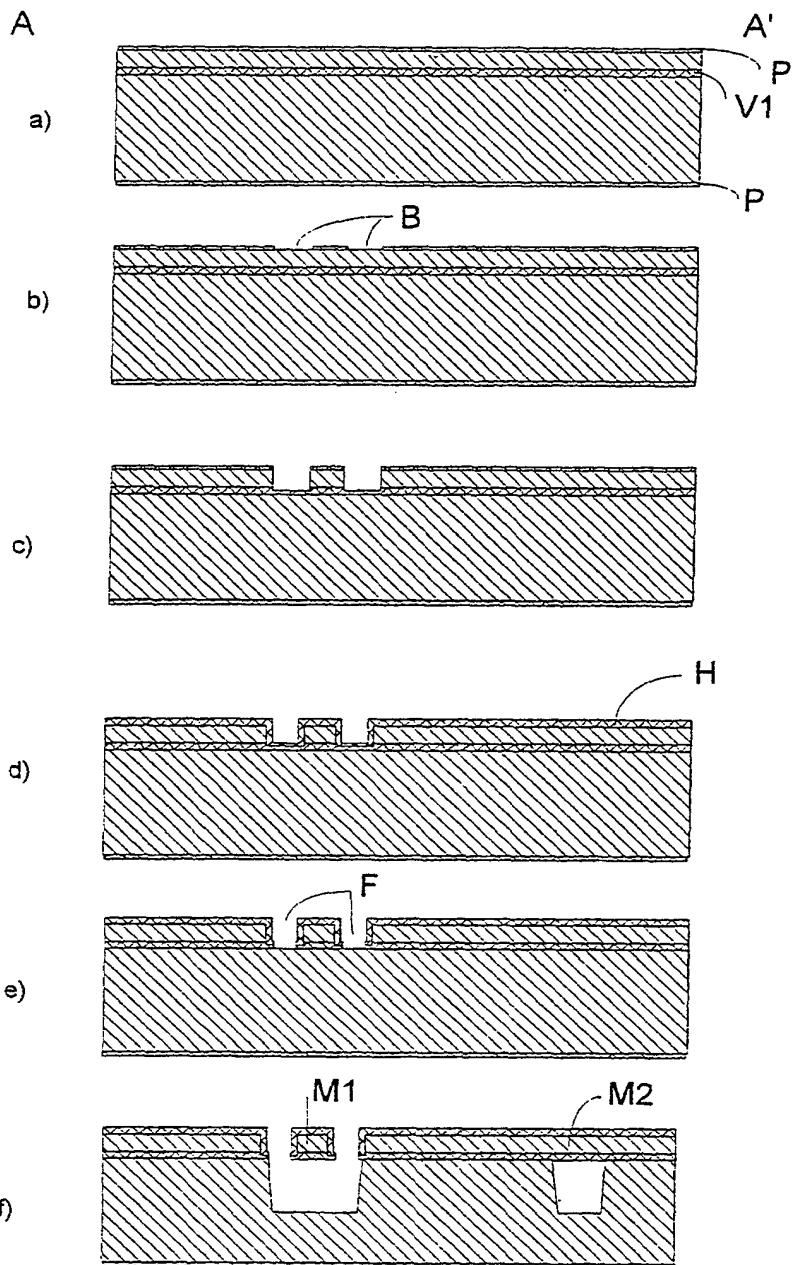
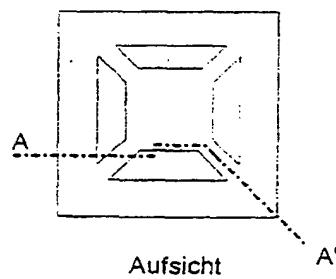


Fig. 4



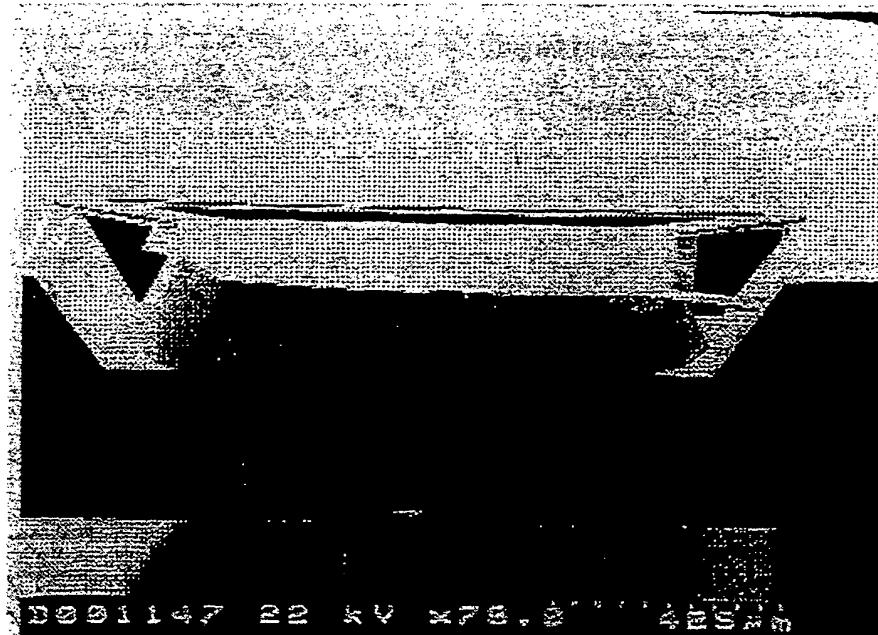


Fig 5a

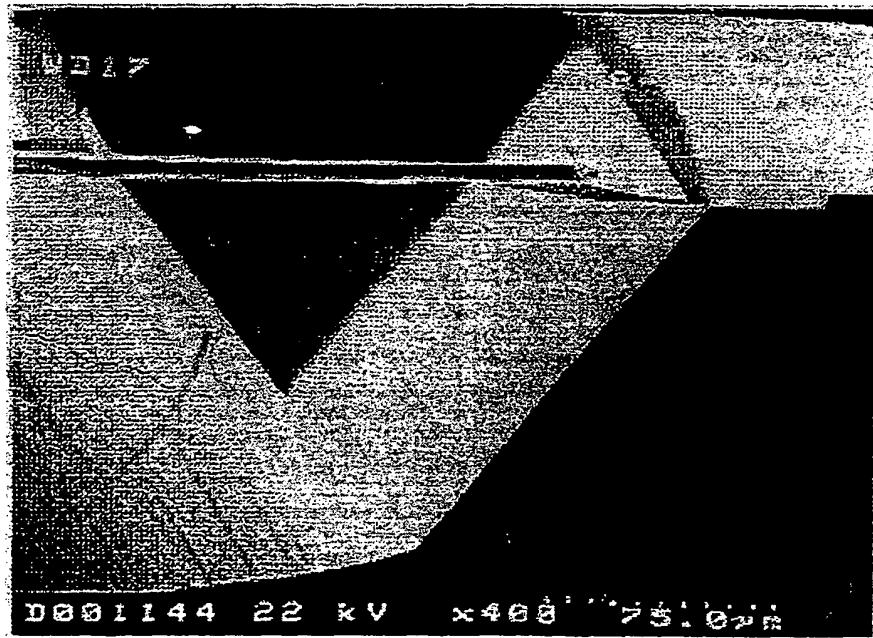


Fig 5b

702 032/273

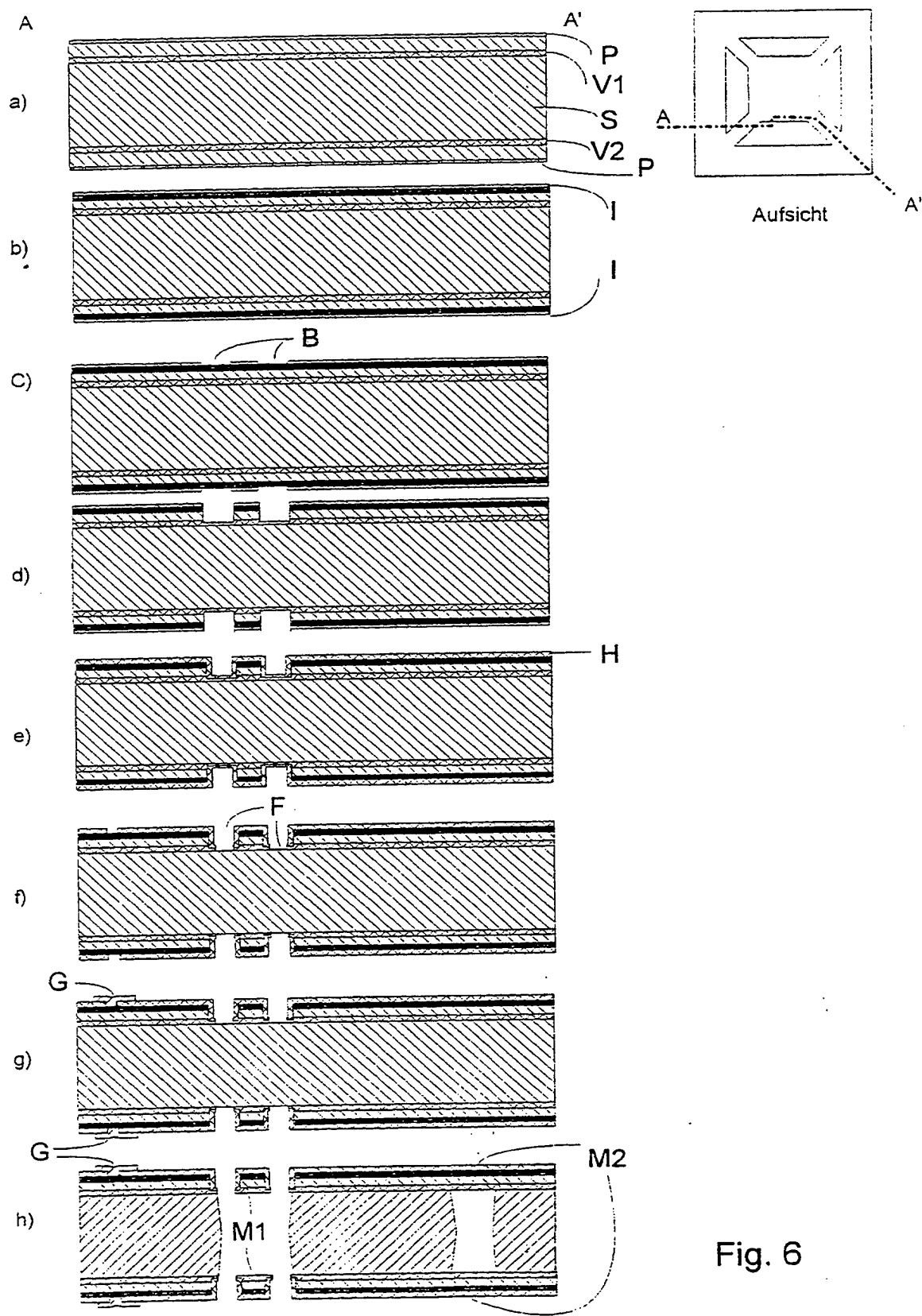


Fig. 6